心理科学进展 2019, Vol. 27, No. 10, 1687–1702
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2019.01687

环境光照的认知功效及其调节因素与作用机理*

汝涛涛[1,2] 李 芸[3] 钱 柳[3] 陈庆伟[1,3] 钟罗金[4] 李静华[5] 周国富[1,2]

([1]华南师范大学，国家绿色光电子国际联合研究中心，广州 510006) ([2]华南师范大学，华南先进光电子研究院，广东省光信息材料与技术重点实验室&彩色动态电子纸显示技术研究所，广州 510006)
([3]华南师范大学心理学院，光与身心健康实验室，广州 510631) ([4]华南师范大学基础教育与培训研究院，广州 510631) ([5]肇庆华师大光电产业研究院，智能照明与身心健康研究中心，肇庆 526000)

摘 要 自人类视网膜上发现存在新型的内在光敏感神经节细胞以来，环境光照对个体生理心理功能的非视觉作用备受研究者青睐，其中环境光照对认知功能的非视觉作用结果并不十分一致且内在机理尚不明确。环境光照的认知功效会受到光学参数、光照模式、时间因素、个体差异以及任务特征等的共同调节。未来的研究需要从环境光对心理认知功能的作用模式，动态办公照明系统的开发，面向特殊群体的个性化照明以及光照非视觉作用产生的分子生物学机制等视角进行扩展和深化。

关键词 环境光照；非视觉作用；认知功能；生物节律
分类号 B842; B849

1 环境光照的非视觉效应

环境光在整个地球生物特别是哺乳类动物的进化历程中扮演着举足轻重的角色。人类和其他昼间活动的哺乳动物一样，主要是借助光获得对客观世界的认知。起初，人们对光照作用的认知仅局限于其视觉图像功能(Image forming function, IF)，即环境光可以帮助人们形成对周围客体的形状、颜色和空间方位等视觉信息的认知(Berson, Dunn, & Takao, 2002)，直至本世纪初，美国科学家在哺乳动物的视网膜上发现了有别于传统视杆和视锥细胞的第三类感光细胞——内在光敏感性神经节细胞(Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs)。此类细胞分布在视网膜的最内层，数量极少，且对短波长光波(约 430 nm, 接近蓝光)最为敏感。人们才开始认识到光信号到达视网膜后传输至大脑皮层包含第二条感光路径，即由 ipRGCs 细胞感知后首先传递至大脑的视交叉上核(Suprachiasmatic nucleus, SCN)后由其控制机体的生物节律、激素分泌及其他生命体征(如血压和脉搏等)。同时借由 SCN 与大脑皮层诸多区域(如脑干、下丘脑下部、背外侧前额叶等)间广泛的神经投射关联进而调节机体的警觉性、情绪及认知加工，甚至是社会心理和行为。这通常被称作光照的非视觉功能(Non-image forming function, NIF) (Cajochen, 2007; Perrin et al., 2004; Vandewalle et al., 2006; Vandewalle, Maquet, & Dijk, 2009; 陈庆伟 等, 2018; 朱莹莹, 汝涛涛, 周国富, 2015)。

随着环境光照非视觉功效研究的深入及现代 LED 照明与显示技术的发展，有关环境照明与人类身心健康之间关系的研究受到越来越多学者的重视。其中主要包括环境光对机体昼夜生物节律的调节与对机体心理认知功能的直接激活作用两大体系，如图 1 所示。早期大量的研究都聚焦于环境光照的生物节律效应。近 10 年来，研究者开始转向关注和探究环境光照对个体认知加工的影响。但研究结果并不十分一致且有待更多研究的验证。为此，本文将重点围绕环境光照的认知功

收稿日期：2018-04-13
* 广州市哲学社科规划 2019 年度“羊城青年学人”课题(2019GZQN19)、国家重点研发计划项目(2016YFB0401202)、广东省光信息材料与技术重点实验室(2017B030301007)、国家高等学校学科创新引智计划 111 引智基地项目和周国富云南专家工作站(2017IC011)资助。
通信作者：汝涛涛, E-mail: taotao.ru@scnu.edu.cn
周国富, E-mail: guofu.zhou@m.scnu.edu.cn

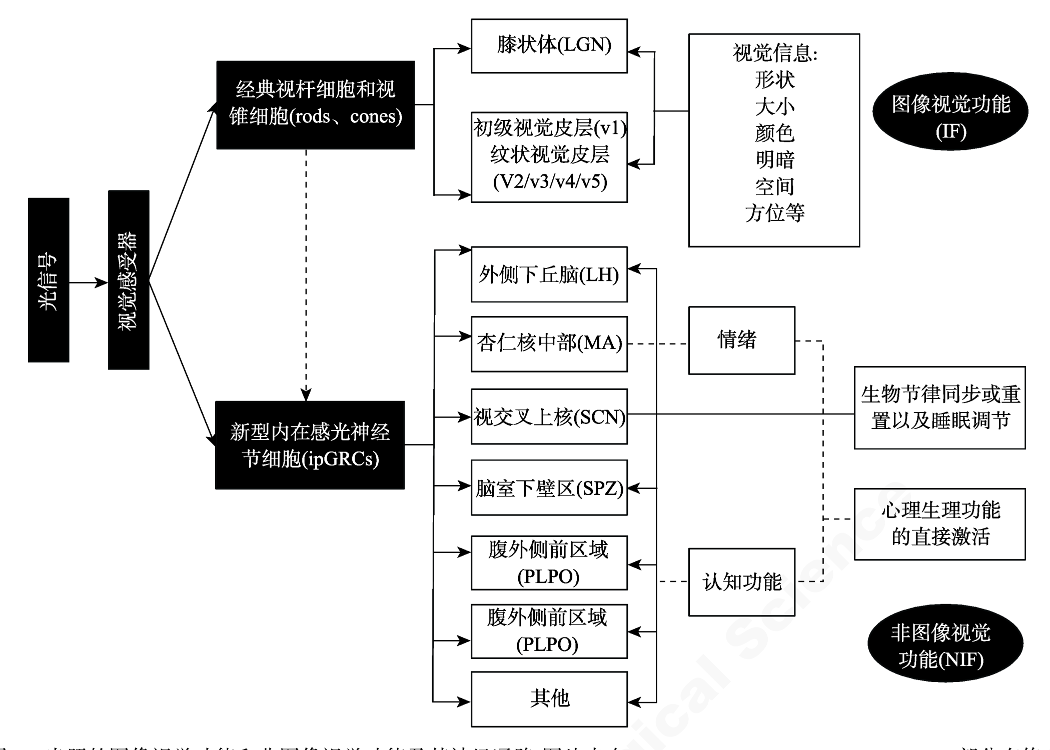


图 1 光照的图像视觉功能和非图像视觉功能及其神经通路(图片来自 LeGates, Fernandez, & Hattar, 2014, 部分有修改)

效包括其对心理认知功能的影响，调节因素及潜在的作用机理展开。

2 环境光照对心理认知功能的影响

根据研究者的目的与其所采用任务范式的不同，环境光照对个体心理认知功能的影响主要包括警觉性，注意加工与较复杂的认知执行功能等方面。

2.1 警觉性

警觉性(alertness)反映了机体生理上的警醒程度以及心理上持续性注意的稳定性，是一种较为简单的认知加工方式(Coull, 1998)。警觉性水平的高低直接影响机体的认知表现(Figueiro, Sahin, Wood, & Plitnick, 2016)、知觉技能(Curcio, Casagrande, & Bertini, 2001)以及推理能力(Curcio et al., 2001)。目前研究中主观测量指标通常包括卡罗林斯卡睡意问卷(KSS)评估的睡意严重程度；客观指标包括褪黑素(melatonin)的分泌浓度、生理警觉性任务(PVT, Psychomotor Vigilance Task)的成绩(如走神频次和反应速度)以及高低频脑电波(如 α 和 θ)的活动强度。

早期关于环境光照影响个体警觉性的研究主要集中在夜间，特别是在轮班工作情境下(Rüger, Gordijn, Beersma, de Vries, & Daan, 2006; Yoon, Jeong, Kwon, Kang, & Song, 2002)。例如，Lewy, Wehr, Goodwin, Newsome 和 Markey 1980 年首次报告了环境照度为 1000 lx 时能够显著抑制机体褪黑素的分泌和提高警觉性水平(Lewy et al., 1980)。然而，后来研究发现，夜间即使是较低的照度也能够产生明显的警觉性效果。例如 Brainard 等人(1988)的实验室研究，在严格控制无关变量的条件下，发现 5 lx 眼位照度就可以有效抑制褪黑素的分泌。为了进一步明确夜间环境光照度水平与警觉性效应大小间的对应关系，Cajochen 等人 2000 年的一项研究系统考察了光照强度的剂量(3~9100 lx)与警觉性反应指标包括褪黑素分泌、主观警觉性以及眼动指标间的关系，结果发现，光照强度与警觉性各指标均存在剂量−反应曲线的关系，即随着照度的提高，警觉性显著增强，表现为褪黑素分泌量显著降低，主观警觉性增高及眨眼频率显著减少。而 100 lx 为该反应曲线的拐点(Cajochen, Zeitzer, Czeisler, & Dijk, 2000)。另有研究发现，夜间采用蓝光成分丰富的白光也能够显著抑制机体褪黑素的分泌，提高听

觉 PVT 任务加工速度。如 Chellappa, Steiner, Blattner, Gotz 和 Cajochen (2011)研究控制光照强度(40 lx)后发现, 6500 K 较之于 2500 K 与 3000 K 的白光作用下被试主观睡意更低, 警觉性 PVT 反应速度显著更快。与之类似, 短波长的蓝光(430 nm)较之于长波长绿光(650 nm)作用下被试在主观睡意量表上的得分显著更低, 低频 θ 波强度显著减弱(Cajochen et al., 2005; Lockley et al., 2006; Revell, Arendt, Fogg, & Skene, 2006)。然而, 与夜间研究不同, 来自日间的研究并未总是发现环境光照对个体警觉性水平的显著影响, 日间环境光照的警觉性功效很多时候依赖于极高的照度水平或被试的疲劳状态。如 Rüger 等人(2006)的研究发现, 高照度(5000 lx)相对于暗光(<10 lx)作用能够显著降低个体日间(12:00~16:00)的主观睡意水平。Phipps-Nelson 等人(2003)研究发现, 日间(12:00~17:00)高照度(1000 lx vs. 5 lx)能够显著提高睡眠限制(2 晚)个体的警觉性 PVT 反应速率。相反, Huberts 和 Smolders 等人的两项研究也均未发现在日间工作时段(9:00~17:00)高照度(1200 lx vs. 200 lx)的照明环境对正常睡眠个体完成警觉性(PVT)任务成绩的显著影响(Huiberts, Smolders, & de Kort, 2016; Smolders & de Kort, 2014)。除了上述日间研究者选用的研究范式包括测量手段、光学参数与被试群体方面的差异, 同时也提示白昼与黑夜时段环境光照产生警觉性功效可能依赖于不同的作用机理。

2.2 注意

注意功能是个体完成复杂认知加工的心理基础, 环境光照如何影响个体的注意加工表现长期以来一直是研究者关注的重点。通常研究的范式主要包括视觉或听觉 Oddball 任务和 PVT 任务以及选择性注意相关的视听联合任务。Kretschmer, Griefahn 和 Schmidt (2011)研究发现, 高照度(眼位 3000 lx)较之于低照度(眼位 300 lx)白光(4000 K)作用下, 夜间轮班工人主观睡意量表得分显著更低, 分配注意任务上的成绩更好。Smolders, de Kort 和 Cluitmans (2012)研究发现日间约 1 小时高照度(1000 lx vs. 200 lx, 4000 K)办公照明环境下, 个体完成持续性注意(PVT)任务的总体反应时更短, 心率显著更快。此外, 有研究者采用 EEG 和 fMRI 等认知神经科学技术对环境光照影响个体注意加工的神经活动特点进行了考察(Min, Jung, Kim, & Jin, 2013; Okamoto & Nakagawa, 2015; Vandewalle et al., 2006)。如 Vandewalle 等人(2006)脑成像的研究结果提示, 亮光(7000 lx vs. 5 lx)作用下, 被试完成持续性注意 Oddball 任务时大脑皮层的注意网络包括背外侧前额叶、顶内沟、上腔壁小叶等激活程度显著更强。Okamoto 和 Nakagawa (2015)的研究比较了不同波长单色光(470 nm, 530 nm 和 620 nm, 眼位照度 10 lx)与暗光(低于 1 lx)条件下被试完成 Oddball 注意任务时的 ERP 特征。结果发现, 较之于暗光条件, 短波长蓝光作用下被试大脑诱发了更大的 P300 成分。与之相反, Min 等(2013)比较了日间不同照度(150 lx vs. 700 lx)和色温(3000 K vs. 7100 K)条件下被试完成持续性注意 Oddball 任务时刺激锁定的 ERP 差异。EPR 的结果提示高照度条件下目标刺激锁定的 N1 波幅显著大于低照度条件。任务态 EEG 分析结果发现, 高照度作用显著削弱了大脑高频 α 的活动强度。但行为结果提示, 被试在高照度条件下持续性注意的反应时更长。研究者指出, 这可能是因环境照度过高而导致被试无法在任务进行过程中集中注意力所致。

2.3 执行功能

较之于注意功能, 执行功能如反应抑制、认知灵活性和工作记忆等是一种较为复杂的心理认知加工。对执行功能的研究一直是认知科学研究的重要内容。但在环境光照非视觉效应的研究领域, 直到近期研究者才开始关注这一主题, 研究数量相对较少, 但已然成为研究者关注的热点问题。

2.3.1 反应抑制

反应抑制的测量范式包括经典的 Go/No-go 任务和 Flanker 任务。此外, 诸如字母划消任务(letter cancellation, LCT)和注意网络测试任务(attention network task, ANT)等也偶有使用。如 Figueiro 等人(2016)的研究发现, 较之于暗光(眼位低于 5 lx)条件, 夜间亮光条件(2560 K, 眼位 361 lx)能显著提高被试 Go/No-go 任务的反应速度。Beaven 和 Ekstrom (2013)的研究考察了日间 240 mg 咖啡因和 40 lx 蓝光作用对个体反应抑制(Go/No-go)任务的影响, 结果发现, 较之于安慰剂(无咖啡因和光照)条件, 蓝光作用下被试在 Go/No-go 任务的反应正确率得到显著提高。同样, Chellappa 等人(2011)发现, 夜间高色温白光(6500 K, 眼位 40 lx)作用下被试完成反应抑制任务的速度

显著快于低色温(2500 K)光条件。相反，个别研究发现日间环境光照的色温并不影响个体的执行功能，而过高的照度水平反而会干扰反应抑制任务的表现。例如，Smolders 和 de Kort (2017)的研究发现，在控制日间办公照明的照度(500 lx)后色温水平(6500 K vs. 4000 K)并未显著影响被试完成字母划消测试、注意网络测试和加法运算任务的成绩。类似地，新近 Ru, de Kort, Smolders, Chen 和 Zhou (2019)的研究对比了日间办公照明的照度(100 lx vs. 1000 lx)和色温(3000 K vs. 6500 K)对个体认知加工表现的交互性影响。结果发现，个体完成反应抑制任务(Go/No-go)和冲突监控任务(Flanker)的成绩均不受色温水平的显著影响。而 Smolders 等人(2014)先前的一项研究发现，个体在低照度办公环境(4000 K，眼位 200 lx vs. 1000 lx)中完成听觉 Go/No-go 任务的反应正确率反而显著好于高照度环境。造成差异的首要原因可能与研究者选用的光学参数以及实验开展时间的差异有关。例如 Chellappa 等人(2011)的研究在夜间进行且采用较低的 2500 K 的暖白光作为控制条件，而 Smolders 等人(2014)研究在日间进行且采用中等色温 4000 K 的白光作对照。

2.3.2 认知灵活性

除了反应抑制，少量研究也考察了环境光照对个体认知灵活性的非视觉作用。实验任务主要包括任务转换范式(task switching)和心理旋转(mental rotation)等。例如，Slama, Deliens, Schimitz, Peigneux 和 Leproult (2015)研究发现高照度(2000 lx vs. 200 lx)白光作用下被试完成警觉性任务的反应时更快，完成认知转换任务时的转换消耗显著降低。Ferlazzo 等人(2014)的研究考察了日间高色温的新型 LED 光源与低色温传统荧光灯对被试心理旋转和任务转换绩效的影响。结果发现，较之于低色温(2800 K)的传统光源，高色温(4000 K)的 LED 照明条件下被试完成心理旋转任务的正确率更高，任务转换的反应时更短。目前，关于环境光照对个体认知灵活性的影响的研究相对匮乏，也缺少对其内在神经机制的探究。今后需要更多的研究并借助认知神经科学的研究技术对这一主题进行深入探讨。

2.3.3 工作记忆

工作记忆作为执行功能的另一重要成分，也是与人们工作和生活息息相关的重要心理品质，故受到了研究者们较多的关注。实验范式主要包括 N-back 任务，数字广度(Digital Span Task, DST)任务以及视觉系列数字加法任务(Paced Visual Serial Addition Task, PVSAT)。其中根据难度等级，N-back 任务由易到难通常采用 1，2 和 3-back，而数字广度测验分为较为简单的向前数字广度(Forward Digital Span Task, FDST)和难度较大的向后数字广度测试(Backward Digital Span Task, BDST)。

早期 Vandewalle 等人(2007)采用 N-back 范式考察了不同波长(470 nm 和 550 nm)单色光对工作记忆的影响及脑区激活特点。结果发现，短波长的蓝光较之于绿光作用下被试完成工作记忆任务时会更加显著地激活大脑前额叶、顶叶及丘脑等与工作记忆相关的脑区。另有研究也发现，个体工作记忆的行为表现也会受到光照照度和色温水平的显著影响。如 Santhi 等(2013)研究采用 N-back 任务范式考察晨间光照照度(19 lx，200 lx，195 lx 和 750 lx)和色温(2700 K vs. 17000 K)对轻度睡眠限制(6.5h)个体工作记忆的交互影响时发现，在控制照度水平后高色温条件下被试在 3-back 任务上的反应速度显著更快。同时，Kretschmer, Schmidt 和 Griefahn (2012)研究发现，夜间高照度的照明(3000 lx vs. 100 lx)条件下轮班工人完成 2-back 任务的错误率显著更低。此后，Huiberts, Smolders 和 de Kort (2015)研究在控制办公照明的色温(4000 K)后发现，高照度(1000 lx vs. 200 lx)办公照明显著促进了被试完成向前数字回忆任务(FDST)的成绩，而被试完成向后数字回忆任务(BDST)的成绩却受到轻微干扰。上述结果提示，环境光能够显著影响个体工作记忆的表现且这种影响与研究者选用的工作记忆任务的特点如难易程度有关，详见下文。

3 环境光照认知功效的调节因素

正如上文所述，当前研究发现的环境光照对个体心理认知功能的非视觉作用并不十分一致。环境光照的认知功效大小会受到诸多因素的调节，其中主要包括光照自身的光学属性、光照的作用模式、时间因素、任务特征以及个体差异等。对于这些影响因素的探讨不仅有助于深入探究环境光照认知功效产生的作用机理，同时，也为生活中人们有效利用自然或人工光照提升其工作绩效

和心理幸福感提供科学的方法借鉴。

3.1　光照参数

环境光的非视觉功效主要是由 ipRGCs 细胞参与的非视觉神经通路负责完成。同时位于视网膜外层的传统的感光细胞(视杆和视锥细胞)也能够为该新型细胞传递少量的光学信号。然而，ipRGCs 细胞因包含对光信息极度敏感的感光色素——视黑素(melanopsin)而与传统视觉细胞在光照强度与波长敏感性方面均存在显著差别。高照度(illumination)的光线作用下 ipRGCs 细胞的活性会显著增强，这是因为高照度光照能够提供更多的视觉元素(photo)而其正是视黑素感知产生的必要前提(Berson et al., 2002)。同时, ipRGCs 细胞(S-cone)对短波长光波更为敏感，而传统的视觉感受器(如 M-cone 和 L-cone)对中长波长光波更为敏感(Hankins, Peirson, & Foster, 2008)。因此，在诸多调节因素中，光照自身光学属性如照度(illuminance)和光谱特性(spectrum)等直接决定着环境光照认知功效的大小。

3.1.1　照度

研究结果大多提示，明亮的室内照明环境能够对个体的心理认知功能产生显著的促进作用。例如，夜间高照度光照条件下被试在持续性注意(Rüger et al., 2006)、选择性注意(Kretschmer et al., 2012)、反应抑制(Chellappa et al., 2011; Figueiro et al., 2016)和工作记忆(Kretschmer et al., 2012)等任务上的成绩得到显著提高。尽管日间研究结果稍显不一致，但仍有大部分研究报告了高照度光环境对个体诸多心理认知功能的积极作用。如研究者发现，较之于暗光(通常低于 200 lx)的控制组，高照度(如 1000 lx)的照度条件能够显著促进被试的主观和客观警觉性(Phipps-Nelson et al., 2003)、持续性注意(Smolders et al., 2012; Smolders & de Kort, 2014)、执行控制(Correa, Barba, & Padilla, 2016; Slama et al., 2015)和工作记忆任务表现(Huiberts et al., 2015, 2016)。

3.1.2 色温

色温是复合白光的另一重要属性，但色温对环境光非视觉功效的调节本质上源于其光谱特性。具体而言，复合白光其通常由多种不同波长光波混合而成，其中蕴含短波长蓝光的成分越多，则复合白光的色温会更高。因此，高色温白光因富含较多蓝光成分能够对机体的生理心理功能产生更加明显的非视觉影响。例如, Keis 和 Viola 等人的研究均发现办公场所设置高色温的室内照明环境后员工主观报告工作时精力水平显著提高(Keis, Helbig, Streb, & Hille, 2014; Viola, James, Schlangen, & Dijk, 2008)，类似地，研究者发现高色温光照作用下采通过量表评估的主观警觉性和持续性注意的能力也显著加强(Chellappa et al., 2011; Mills, Tomkins, & Schlangen, 2007)。相反，Ru 等人(2019)的研究分别考察了日间 100 lx 和 1000 lx 两种照度水平上高、低色温(6500 K vs. 2800 K)对个体主观睡意与心理认知加工的影响。结果发现，在约 1 h 的光照作用过程中无论是主观警觉性或是客观注意和执行加工任务均不受色温水平的显著影响。造成上述差异的主要原因与研究者采用的色温参数以及光照时长差异等有关，如 Keis 和 Viola 等人的研究都采用极高的色温水平(如 17000 K)或较长的光照作用时间(数周)。由此提示，较长的作用时间或极高的色温水平是日间高色温白光凸显其优势效应的重要前提。

3.1.3　波长

波长(wavelength)是单色光最为重要的光谱特性，人眼可见光的光谱范围为 380 nm 到 780 nm。目前关于色光认知功效的研究主要聚焦于短波长的蓝光(460 nm)对机体生理心理功能的非视觉作用。例如，早期的实验室研究发现，波长为 460 nm 的蓝光作用能使人体体温显著提高，照射 1.5 小时以后能加快人体心率、降低主观睡意和提高警觉度；而波长 550 nm 的绿光作用对上述指标均无显著影响(Lockley et al., 2006)。与此同时，研究发现蓝光产生的警觉效果并不依赖于其光照强度。如 Cajochen 等人(2005)的研究提示仅 5 lx 的蓝光(460 nm)也能够显著地抑制机体褪黑素的分泌和降低主观睡意水平，同时显著削弱低频 δ 和 θ 活动强度。来自 fMRI 的研究提示，短波长蓝光作用能够显著增强个体认知与情绪加工相关的脑区活动强度。如 Vandewalle 等人(2007)研究发现，较之于绿光条件，蓝光作用下个体完成 n-back 任务时大脑前额叶、顶叶及丘脑等与工作记忆相关的脑区得到更大程度的激活。Vandewalle 等人(2010)后续的研究还发现被试在蓝光作用下对情绪刺激的注意加工更加敏感，大脑海马、杏仁核和下丘脑等与情绪加工相关的脑区活性得到显著增强。

此外，由于色光同时蕴含颜色信息，其不再

仅仅作为一种光学物理信号，同时也被赋予了一定的文化心理意义。红色通常被视作一种危险的信号讯息而更易诱发个体产生回避动机和较高的生理唤醒。例如，Plitnick, Figueiro, Wood 和 Rea (2010)的研究考察了夜间不同照度(10 lx 和 40 lx)的红光(470 nm)和蓝光(630 nm)对个体警觉性、生理唤醒和情绪的影响。结果发现，蓝光和红光均显著增强了被试大脑 β 波的活动强度，降低了主观睡意并诱发了更加积极的情绪体验。并且这种蓝光和红光产生的警觉性功效独立于其光照强度。类似地，另有研究对比了晨间和下午低照度的红光(630 nm)与蓝光(470 nm)对被试警觉性及生理唤醒的影响。结果发现，红光和蓝光条件均削弱了被试 α 波和 α–θ 波的活动强度(Okamoto, Rea, & Figueiro, 2014; Sahin & Figueiro, 2013)。上述结果提示，短波长蓝光较之于长波长色光能够对个体的生理节律和认知功能产生更加明显的非视觉效应。同时，色光本身蕴含的颜色信息也会对个体的生理心理功能产生显著影响。

3.2 光照模式

众所周知，自然环境光无论是色温还是照度在日间无时无刻都在发生着变化，然而当下人们70%~90%的时间处于照明水平恒定的室内环境之中。除了室内恒定照明(如色温或照度保持不变)，采用动态模式的光照如人造动态光、间歇性光照以及黎明模拟光较之于恒定光作用能够对机体的心理认知功能产生类似甚至更大的非视觉作用效果。

3.2.1 动态人工光照

来自田野实验的研究结果提示，较之于恒定照度或色温的照明条件，照度或色温的动态变化能够诱发更加明显的非视觉功效(Canazei, Dehoff, Staggl, & Pohl, 2014; de Kort & Smolders, 2010; Smolders, de Kort, & van den Berg, 2013; 罗明, 郑诗琪, 叶鸣, 2016)。如 de Kort 与 Smolders (2010)一项为期 3 周的田野研究比较了动态与恒定办公照明环境对员工主观精力、警觉性、工作效率以及睡眠质量等的影响。虽然研究结果并未发现两种照明模式在上述观测指标上的显著差异，但员工主观报告对动态办公照明环境的满意度更高。随后，Canazei 等人(2014)的研究考察了晨间人工动态照明对女性轮班工人日间警觉性、工作绩效以及夜间睡眠质量等的影响。结果发现，较之于照度恒定的办公照明，照度动态变化环境下工人主观报告的警觉性和工作效率显著更高，且夜间睡眠的入睡潜伏期明显更短。由于目前关于动态照明的实验研究相对匮乏，加之田野实验中测量指标的主观化以及对无关变量(如日间活动量，夜间睡眠质量等)的控制不严格。研究结论有待今后更多研究的验证。

3.2.2 间歇性光照

间歇性光照(intermittent light)指实验过程中在固定时间点或以固定时间间隔进行周期性光照。这种照明模式主要被广泛应用于对个体生物节律的干预性研究中(Revell et al., 2006; Sharkey, Carskadon, Figueiro, Zhu, & Rea, 2011)。如 Rimmer 等人(2000)的研究考察了间歇性强光光照对机体内源性生物节律的重置效应。研究在整个干预时段(0 点至中午 12 点)分别以 25 分钟和 90 分钟的时间间隔周期性地施加亮光刺激。结果发现，相对于持续 5 小时的光照组，间歇性光照作用对生物节律重置效果更加明显。后来，Warman, Dijk, Warman, Arendt 和 Skene (2003)的研究考察了间歇性蓝光对昼夜生物节律的重置效果。研究中被试需要每间隔 6 分钟后去直视一次光源。结果发现，间歇性蓝光作用和持续性白光作用在诱发褪黑素分泌的峰值期以及生物节律的重置幅度等指标上均不存在显著差异。新近的一项研究也发现，夜间持续 3 个小时的间歇性亮光能够和连续性亮光光照产生类似的激活效应，能够显著降低主观睡意量表的得分以及提高警觉性 PVT 任务的成绩(Yang et al., 2018)。间歇性光照有望成为一种新的办公照明取向。因为这种光照模式不仅能够产生与持续性光照相同的非视觉作用效果，同时还可以缓解持续光照带来的视觉不适感，亦可节约光疗或光照干预的经济成本。

3.2.3 黎明模拟光照

黎明模拟光照(Dawn simulation light, DSL)是基于模拟黎明自然光发展而来的一种光照模式。该模式下光源的照度能够在固定时间段内(通常为 30 分钟)由 0 lx 逐渐增加至最大照度 300 lx 后维持该照度不变，色温变化范围也极为广泛。黎明模拟光被广泛应用于对抗睡眠惯性的研究中(Gabel et al., 2013, 2015; Thompson, Jones, Gregson, & Atkinson, 2014; dan de Werken et al., 2010)。例如，Thompson, Jones, Gregson 和 Atkinson (2014)

的研究发现，相对觉醒前无光(0 lx)的控制条件，觉醒前 30 分钟使用黎明模拟光照后(0 lx ~ 300 lx)被试觉醒时的主观清醒度显著更高，同时被试完成加减运算题目的数量更多，且平均运算时间显著更短。Gabel 等人(2015)的研究系统地考察了黎明模拟动态照明(0 lx ~ 250 lx)对睡眠限制人群(6h 夜间睡眠)认知功能的影响。结果发现，较之于恒定光照(8 lx)，黎明模拟光条件下被试在简单反应时任务、持续性注意和工作记忆任务上的成绩显著更好。由于上述研究中均缺少在平均光照量上与黎明模拟光相匹配的控制条件，因此，目前我们无法辨别黎明模拟光表现出的优势效应是源于其光学参数的动态变化模式还是其提供的较多的光照总量。

3.3　时间因素

除了光照参数和作用模式外，环境光照对机体生理和心理功能影响也会受到时间因素如实验时间(timing)和光照作用时长(duration)等的显著调节。

3.3.1　作用时间点

在一天的不同时间点(time of day)进行光照所产生的功效会有所不同，其中最为明显的是昼夜时间效应。如最早 Leproult, Colecchia, Hermitebaleriaux 和 van Cauter (2001)的研究分别在凌晨(5 点至 8 点)和下午时段(1 点至 4 点)对睡眠限制(总睡眠时间少于 6 h)被试施加 3 小时的亮光并测量了其皮质醇的分泌水平，结果发现，仅凌晨时段的光照作用显著提高了个体的皮质醇水平。随后，Rüger 等人(2006)研究首次系统性地考察了昼夜时间效应。研究中要求被试分别在中午 12 点和夜间零点分别接受 4 小时的强光(5000 lx)作用并记录了被试身心功能的变化。结果发现，尽管夜间与日间高照度光照均显著降低了被试的主观睡意和疲劳水平，但高照度较之于暗光控制组(低于 10 lx)仅在夜间时段显著提高了被试的核心体温和心率。除了昼夜差异，环境光照的认知功效在日间不同时段也存在显著差异。如 Smolders 等人(2012)的研究发现，高照度(1000 lx vs. 200 lx)照明环境仅在上午时段(9:00~12:00)显著降低个体的 KSS 睡意量表得分和提高了警觉性 PVT 任务的反应速度，下午时段(13:00~17:00)并未发现这一结果。Huiberts 等人(2015)的研究也发现高照度(1000 lx vs. 200 lx)仅在上午时段显著降低了被试 KSS 睡意量表得分。Smolder, de Kort 和 van den Berg (2013)的后续研究还发现，个体日间接受到的光照总量与采用主观量表评估的精力水平之间呈现显著的正相关，而这种相关关系在一天中的上午时段要更加凸显。国内研究者发现高照度(1000 lx vs. 200 lx)对警觉性的提升作用在下午体现得更为明显(熊晓，朱莹莹，陈庆伟，汝涛涛，周国富, 2018)。

此外，季节因素(time of year)也会调节环境光照的认知功效。譬如 Smolders 等人(2013)的一项长期田野调查研究发现日间较高的光照强度能够显著提升个体主观量表评估的精力和警觉水平，而这种效应在秋冬季节较之于春夏季更为明显。另 Huiberts, Smolders 和 de Kort (2017)的实验室研究也发现，高照度(1000 lx vs. 200 lx)光照显著减少了被试上午时段的主观睡意，精力水平与持续性注意(PVT)任务的反应时。但环境照度所产生的这种积极作用只存在于秋冬季节而在春夏季节并无此效应。尽管目前关于日间环境光照的时间效应(time of day/year)的实验室研究相对较少，但上述研究结果足以提示，生物时间因素(exposure time)的差异能够对环境光照效应产生显著的调节作用。究其原因除了个体内在生物节律和内稳态系统的动态变化外，可能与个体的光照历史即实验前接受到自然光照量和强度在不同季节和时间点的差异有关。

3.3.2　光照时长

除了光照作用时间点的差异，实验中光照的作用时长(duration)也会调节其非视觉作用的大小。如同前文所述，大多 fMRI 的研究仅发现光照条件会显著影响个体认知与情绪加工关联脑区的活性，但在行为层面并未发现光照作用的显著的作用(Vandewalle et al., 2009, 2010)。这些研究在实验设计上有个共性问题即均设置较短的光照作用时长(不足 18 分钟)，而光照的非视觉功效随着实验中光照作用时长的增加开始凸显。如 Smolders 等人(2012)研究发现，被试在 1 个小时的高照度(1000 lx，眼位)光照环境下完成持续性任务和字母校对任务的成绩显著高于低照度(200 lx，眼位)条件，而这种优势效应仅存在光照持续作用 30 分钟后的任务测试 block 中被发现。类似地，Huiberts 等人(2015)的研究中发现被试在高照度光照作用下完成工作记忆 BDST 任务的正确率显著高于低照度条件，但也仅存在于任务测试阶段

的最后一个 block 中(光照持续约 1 h)，在较早时间点的 block 中并未发现这一效应。由此提示，环境光照度对个体心理认知功能的非视觉作用依赖于一定的光照作用时长。

3.4 个体差异

正如 Begemann, van den Beld 和 Tenner (1997)研究表明，人们对室内照明环境的喜爱程度除了会受到外界因素如天气、时间(如早晚)等客观因素的影响，在不同个体和群体间也会存在较大的主观差异。目前研究结果已发现个体的生物钟基因(PER3)类型、年龄以及身心状态等都会显著调节环境光照的非视觉作用效果。

3.4.1 基因类型

PER3 是主要负责参与调节个体的睡眠−觉醒节律系统，PER3 有多种亚型而其中的 $PER3^{5/5}$ 和 $PER3^{4/4}$ 通常被认为对应两种不同生物节律类型的群体，前者为晚间型生物节律而后者为早间型生物节律(Dijk & Archer, 2010; Viola et al., 2007)。环境光照的非视觉功效在不同生物基因 PER3 类型个体间存在显著差异(Dijk & Archer, 2010; Vandewalle et al., 2011, 2009)。例如，有研究者直接对比了环境光照对两种不同生物钟基因类型个体认知功能的影响，结果发现，正常夜间睡眠情景下晨间进行短波长蓝光(较之于绿光)作用下，仅 $PER3^{4/4}$ 类型的被试工作记忆加工相关的脑区如腹侧和背侧前额叶皮层和顶内沟得到显著激活。与之相反，睡眠剥夺情景下晨间蓝光作用时仅 $PER3^{5/5}$ 基因类型的被试的上述工作记忆加工相关的脑区得到显著激活。新近 Yang 等人(2019)的一项研究考察了照度对不同睡眠类型个体完成执行控制任务绩效的影响，结果发现，高照度(1200 lx vs. 200 lx)仅显著改善了夜间型被试在日间的执行功能，表现为被试完成任务转化(task-switching)的反应消耗显著降低。

3.4.2 年龄

随着年龄增长，个体诸多生理和心理功能开始退化。环境光照非视觉作用的效果也会受到年龄因素的制约。如有研究发现，环境光照对褪黑素水平的抑制以及对生物节律的重置效果在老年群体中均有显著降低(Benloucif et al., 2006; Daneault et al., 2012, 2014)。新近的一项 fMRI 研究发现，短波长蓝光作用下老年群体在视觉加工、警觉性以及执行加工相关脑区的激活程度均显著低于青年群体(Daneault et al., 2014)。早期的研究也报告了色温对不同年龄群体心理功能的差异化影响，年轻的被试群体在低色温的暖白光(2800 K)作用下消极情绪较少且任务表现更好，相反，老年被试群体在高色温的冷白光(6500 K)作用下表现出更少的负性情绪和更好的任务绩效(Knez, 1995; Knez & Kers, 2000)。

3.4.3 心理状态

个体的生理和心理状态在每天不同时刻都在发生变化，研究提示，环境光照的非视觉作用会受到个体当前心理疲劳水平的调节。如 Smolders 等人(2014)的研究发现，较之于控制组的被试(无心理疲劳干预)，被诱发心理疲劳后的被试在高照度(1000 lx vs. 200 lx)办公环境下主观警觉性和自我控制量表的评分得到了显著提高，分数提高的幅度也显著更大。这一结论同样可以在基于睡眠限制群体的研究中得到印证。例如，相对于正常睡眠的个体，睡眠限制个体(疲劳程度较高)的生理心理机能如心率、核心体温、警觉性与疲劳程度等会受到环境光照更大的非视觉影响(Phipps-Nelson et al., 2003; Rüger et al., 2006)。此外，环境光对个体心理认知功能的非视觉作用也会受到光照作用前个体当前心理准备状态的影响。如 Correa 等人(2016)的研究发现，实验前具有较高警觉性水平的被试在高照度白光作用下完成反应抑制任务(Go/No-go)的速度显著提高，且被试在 Go/No-go 任务的反应时与实验前测得的警觉性水平呈显著的正相关，相反，实验前低警觉性水平的被试完成 Go/No-go 任务的成绩不受环境照度的影响。目前室内办公照明多采用恒定照明参数与固定模式而忽略了个体层面的差异性，创设个性化或因群体特征而异的办公照明环境意义重大。

3.5 任务性质

造成当前环境光照认知功效研究结果多样化的原因，除了研究中光照参数设置有别，不同研究者所选取的认知任务的差异也是非常重要的因素。总体而言，相较于复杂的执行功能任务，简单的注意功能任务对环境光照的照度水平更加敏感。如 Smolders 等人(2012)的研究发现高照度(1000 lx vs. 200 lx)作用显著提高了被试持续性注意任务(PVT)的反应速度，而字母校对任务(LDST)的成绩却未受影响。Smolders 等人(2014)的后续

研究发现被试在高照度(1000 lx vs. 200 lx)条件下持续性注意(PVT)任务的反应速度显著加快，相反，反应抑制任务(Go/No-go)和工作记忆任务(2-back)上的反应速度反而显著变慢。除了认知功能的复杂性，同一性质或同一任务自身的难易水平也会制约环境光照认知功效的凸显。如 Chellappa 等人(2011)的研究发现夜间被试完成视觉序列数字加法任务(PVSAT)的成绩并未受到光照色温(6500 K vs. 2500 K)的显著影响。然而 Santhi 等人(2013)研究采用 N-back 任务范式发现了色温对工作记忆的显著影响。造成这一差异的主要原因可能在于两种工作记忆测试任务本身的难易程度有别。因为另有研究发现即便在同一任务的不同难度水平上环境光照的非视觉作用效果也会有所不同。如 Gable 等人(2013)的研究发现动态黎明模拟光照条件下被试在低难度(1-back)和高难度(3-back)工作记忆任务上的正确率均要显著高于控制组，然而，被试在中等难度(2-back)工作记忆任务上的成绩两者不存在显著差异。Huiberts 等人(2015)的研究发现下午高照度(1700 lx vs. 165 lx)办公照明显著干扰了被试在中等难度工作记忆任务(2-back)的正确率，而较高难度工作记忆任务(3-back)的加工绩效未受影响。Huiberts 等人(2016)随后的研究结果也发现高照度(1700 lx vs. 165 lx)显著提高了被试完成记忆广度为 6~8(较高难度)的 BDST 任务的成绩，但并未影响被试在广度为 4~5 (难度较小)的 BDST 任务表现。这些研究结果提示，任务特征如任务类型和任务难度均会显著调节环境光照对认知加工的非视觉作用效果。

4　环境光照心理认知功效的潜在作用机制

目前，环境光照影响个体心理认知表现的内在作用机制尚无定论，也成为当前该领域研究的热点问题。研究者先后提出了褪黑素抑制假说、脑区激活假说以及生理唤醒假说。这些假说为我们认识和解释环境光照与生理心理功能的内在关系提供了重要的理论基础。

4.1　褪黑素抑制假说

在 ipRGCs 被发现之初，人们对环境光照非视觉的研究大都在夜间进行且多集中考察光照的生物节律效应与警觉性效果。研究结果较一致地表明高照度白光或短波长蓝光能够有效提升机体的警觉性。有研究者指出，光照作用产生警觉性功效的主要机理是亮光或蓝光作用对机体内源性褪黑素分泌的抑制。如前文所述，位于下丘脑的松果体能够接受由 SCN 投射的光学信号并负责调节机体生物性激素如褪黑素和皮质醇的分泌与合成(Figueiro & Rea, 2012; 鲁玉红，王毓蓉，金尚忠，曾珊珊，邵茂丰, 2013)。褪黑素是与个体睡眠调节相关的重要激素，较高的褪黑素水平会使个体体验到较高的睡眠内稳态压力和睡意。褪黑素在傍晚开始分泌和累积，在夜间睡眠过程中会显著降低。夜间照射亮光或短波长蓝光(即使照度较低)都能够显著抑制褪黑素的分泌进而消除睡意，提升机体的警觉性。这一假设也得到了大量实验室研究的支持。例如，有研究者在光照作用过程中采集了被试的唾液和血液样本以此来测量其中的褪黑素水平，随后对机体褪黑素的水平与警觉性指标(主观睡意或 EEG 活动)进行相关性分析，结果发现两者之间存在显著的正相关(Thessing, Anch, Muehlbach, Schweitzer, & Walsh, 1994)。与此同时，研究者令被试夜间口服微量的褪黑素(5 mg)后观测到被试睡意水平显著地增加且 EEG 活动发生明显地改变(Cajochen, Kräuchi, Danilenko, & Wirz-Justice, 1998)。研究者由此推论，环境光照通过抑制内源性褪黑素的分泌而显著提升机体的警觉性和心理功能的表现。然而这一假设受到了后来研究结果的挑战，如越来越多的研究发现即使在褪黑素水平极低的白天，环境光照依然会显著影响个体的生理和心理功能如警觉性、生理唤醒和认知加工绩效等(Phipps-Nelson et al., 2003; Rüger et al., 2006; Vandewalle et al., 2006)。Phipps-Nesion 等人(2003)的研究发现，在早晨(9:00~12:00)和傍晚(17:00~21:00)采用高照度(1000 lx vs. 5 lx)照明均显著降低了被试的主观睡意量表得分，提高了警觉性任务绩效，但机体的褪黑素分泌水平在两种条件之间不存在显著差异。由此提示，环境光照对个体日间与夜间生理警觉性与认知加工的作用途径可能并不完全相同，换言之，褪黑素的抑制可能也并非环境光照产生非视觉作用的唯一路径。

4.2　脑区激活假说

随着研究的深入，研究者开始采用认知神经科学技术如 PET 和 fMRI 来探讨环境光照对大脑

神经活动的调节，试图从大脑神经活动的时空特性角度为人们理解环境光照非视觉的作用机理提供神经生理学的证据。研究结果提示，环境光照不仅能够显著调节机体大脑皮层上结构如背侧前额叶皮质、顶叶内沟和顶叶上部、额中回和缘上回，同时也会显著调节大脑皮层下组织网络如警觉性相关的脑干和丘脑、情绪加工关联的杏仁核与海马体(Fisk et al., 2018; Rautkylä, Puolakka, & Halonen, 2012; Stephenson, Schroder, Bertschy, & Bourgin, 2012; Vandewalle et al., 2006, 2009)。如 Vandewalle 等人(2006)的研究发现，高照度较之于低照度的暗光作用下被试完成持续性注意任务(Oddball)时大脑皮层的注意网络，包括背外侧前额叶、顶内沟、上腔壁小叶等激活程度显著更强。后来，Vandewalle 等人(2007)研究发现，与绿光相比，个体在蓝光作用下完成工作记忆任务(n-back)时会显著激活大脑前额叶、顶叶及丘脑等与工作记忆相关的脑区。此后，Vandewalle 等人(2010)又直接对比了不同波长色光作用下个体对情绪性刺激进行加工时的大脑激活模式。结果发现，蓝光照射下个体情绪性脑区，包括海马、杏仁核、下丘脑等的活性显著增强；相反，在绿光作用时上述情绪性脑区仅在光照伊始就得到激活，此后随着照射时间延长而激活程度逐渐减弱。另有研究者发现位于脑干中缝附近的中缝核团在照明的非视觉作用，特别是在情绪调节方面也发挥着重要作用(Aan Het Rot, Benkelfat, Boivin, & Young, 2008; Grass & Kasper, 2008)，中缝核团的主要特点是产生神经元的递质 5-羟色胺(5-HT)，而 5-HT 与抑郁症的产生密切相关。实验发现利用强光照射能有效提高中缝核内的 5-HT 含量及其合成率进而缓解抑郁症状(Grass & Kasper, 2008; Willeit et al., 2008)。这些都将为临床医疗中运用蓝光进行光疗提供了生物学依据。

脑成像研究的结果揭示，环境光照的照度或波长能够显著调节个体进行认知和情绪加工时的大脑神经活动，但这些发现仅初步揭示了环境光照非视觉效应的脑神经机制。仍有许多问题有待未来研究的探索。如上述研究均未在行为层面发现光照对任务加工绩效的显著作用，可能提示环境光照-脑神经活动-行为表现三者之间并非纯粹的链条式关系，可能存在其它中间变量的调节。同时，上述研究发现的激活脑区具有较强的任务依赖性，目前尚不清楚是否存在对光信息加工的特异性脑区或神经网络。

4.3 生理唤醒假说

新近有研究对日间光照照度、生理唤醒以及认知加工三者及其关系进行了探究，试图检验日间光照对个体认知加工绩效的影响是否是通过生理唤醒的中介作用。该假说的理论基础有二，首先，日间采用高照度光照能够显著加强个体自主性神经活动(autonomic nervous activity)如心率(heart rate)、心率变异性(heart rate variability)、皮肤导电性(skin conductance level)和交感性神经活动(sympathetic nerve activity)的兴奋性(Rüger et al., 2006; Saito et al., 1996; Smolders et al., 2012; Smolders & de Kort, 2014)。其次，来自认知神经科学的研究证据显示高照度光照作用可以加强机体大脑与警觉性和唤醒相关的脑神经活动，如大脑蓝斑核(hemodynamic)活性以及 α 波和 θ 波活动的强度(Figueiro et al., 2016; Kaida et al., 2006; Sahin, Wood, Plitnick, & Figueiro, 2014; Vandewalle et al., 2009)。根据耶克斯-多德森定律(Yerkes-Dodson Law, YDL)，生理唤醒与任务绩效之间的关系会受到任务性质的调节(Yerkes & Dodson, 1908)。具体而言，对于难度较低的任务或单调的注意加工任务，生理唤醒水平与任务绩效之间存在线性递增的关系，即高照度作用下个体唤醒水平较高，任务加工表现也越好。然而，当任务是较高难度或智力性任务时，生理唤醒水平与任务绩效之间则呈现倒 U 型曲线关系。由此，过低或过高的照度并不利于任务表现，甚至会干扰任务表现。Huiberts 等人(2016)的研究首次系统地考察了办公照度(1700 lx vs. 165 lx)对个体完成简单的警觉性任务(PVT)和较复杂的工作记忆任务(BDST)及任务态生理唤醒水平(血压，心率和皮肤导电性)的影响。研究结果提示，下午高照度作用下被试完成 PVT 任务时的心率(HR)显著更高；完成低难度 BDST 任务(记忆广度 4~5)时皮肤导电性(SCL)显著更大。但行为结果仅发现高难度 BDST 任务(记忆广度 6~7)的成绩显著被提高，PVT 任务与低难度 BDST 任务成绩并未受影响。尽管这一研究结果并未很好的验证生理唤醒假说，但 Huiberts 等人的发现为探索环境光照产生认知功效的内在机制提供了一种新的研究视角。一方面，环境光照对个体生理唤醒与任务加工绩效的影响可能存

在不同的作用路径。另一方面，由于研究中仅设置了两种照度条件，被试在高照度作用下的生理唤醒水平达到何种程度(是否超越 U 型曲线的拐点)也未可知。同时，研究者仅对工作记忆任务的难度进行了操作。因此，该假说的可靠性仍有待检验。未来研究可以采用多样化的认知任务并对其任务难度加以区分以此更加全面地验证生理唤醒假说的有效性。

5 未来的研究展望

5.1 环境光照心理认知功效作用模式探讨

尽管目前越来越多的研究发现了环境光的照度或色温对个体心理认知功能的非视觉作用，但我们并不清楚光照照度或色温水平与认知加工绩效之间存在怎样的作用模式，是线性相关还是 U 型曲线关系？目前大多数研究者只设置两种对比(高 vs.低)照度或色温水平来对比其心理认知功效的大小。然而，研究者可能忽略了一个重要的问题即环境光照非视觉作用的大小是否随着照度或色温的增高而呈非线性的变化模式。仅有的一项早期研究发现，夜晚环境光照照度对个体警觉性和褪黑素分泌的抑制作用并非持续地表现出线性递增的关系，当光照照度达到一定水平(约 100 lx)后警觉性与褪黑素抑制水平将保持恒定(Lewy et al., 1980)。遗憾的是该研究并未考察个体心理认知加工绩效随着照度的加强会呈现怎样的变化模式，与此同时，尚未有研究在日间时段对上述问题进行实证探究。因此，未来的研究可以操纵或设置多水平的照度或色温条件，通过测量个体在每种光条件作用下的警觉性和心理认知加工绩效的大小构建光照参数与任务绩效之间的关系模型。从而帮助人们间接地了解环境光照心理认知功效的作用特点，同时有助于人们在实际生产和生活实践中运用环境照明积极的非视觉效果时做到有的放矢。

5.2 动态照明的研发与应用

现有的家居和办公照明系统多为恒定照明，如全天应用恒定的照度或色温参数。正如上文所述，环境光照的非视觉功效存在显著的早晚时间效应和季节差异。与此同时，根据睡眠双过程模型(Borbély, 1982)，个体的生理心理功能受到昼夜生物节律与睡眠内稳态的共同调节而呈现出 24 小时的动态变化。由此提示，未来的办公照明的照度和色温参数可以根据时间早晚，外界天气情况以及季节因素进行动态地调整和变化。如晨间为了消除睡眠惯性的干扰以及帮助个体快速恢复觉醒，可以采用蓝光成分丰富的高色温白光照明；午后时段个体的睡眠内稳态压力较高且易出现精力不济的现象，这可以通过提高室内光照的照度来加以应对；夜间为了避免短波长蓝光对个体睡眠激素的抑制作用，可以采用低色温的暖白光或低照度的暗光进行照明。同时，冬季或阴雨天可以通过提高室内照度的水平来弥补自然光照量的缺失。正如 de Kort 等人(2010)一项田野调查研究发现，与全天采用恒定照明(500 lx, 3000 K)系统条件相比，动态照明系统尽管未能显著提高个体的主观警觉性、工作绩效与夜间睡眠质量，但员工对动态照明模式表现出更高的喜爱程度。由于研究中缺乏对上述变量的客观测量，同时个别干扰变量如天气，员工外出接受自然光照量等变量的混淆，这使得我们无法客观地评定动态照明是否会优于传统的恒定照明而产生更加积极的非视觉功效。从生产效率和身心健康的视角，采用动态办公照明不仅能够满足个体视知觉加工的基本需求，同时可以最大限度的利用环境光照积极的非视觉作用从而提升个体的工作绩效和心理幸福感。

5.3 针对睡眠不足人群开发个性化的照明系统

随着社会经济的飞速发展，工作与生活压力不断增大，越来越多的人群如白领、青少年在不同程度地存在睡眠不足或慢性睡眠限制。研究表明，睡眠不足或睡眠缺失会直接损害个体日间的心理认知功能。Lim 和 Dinges (2010)的一项元分析研究指出短期的睡眠限制能够显著干扰简单的反应时任务(RT)和警觉性注意任务(PVT)的成绩。工效学的研究提示，采用人工干预的方式如提高办公室照明照度水平会在一定程度上改善或缓解夜间睡眠不足带来的负性干扰。如夜间睡眠剥夺情境下，高照度光照能够在一定程度上有效恢复夜间睡眠限制被试的警觉与任务加工能力(Baek & Min, 2015; Slama et al., 2015)。未来的研究可以针对睡眠限制群体探究和研发个体可自主调控光学参数的智能照明系统，结合员工或学生个体需求因时因地而异地调节照明强度或色温，最大程度地降低夜间睡眠不足对其当前行为表现的不良影响，提升工作和学习效率。

5.4 环境光照非视觉作用产生的分子生物学机制的再探讨

尽管早期大量的研究表明，环境光照非视觉作用的产生主要是凭借视网膜上第三类新型的ipRGCs细胞，但传统的视觉感受器——视杆和视锥细胞与新型的 ipRGCs 细胞在功能上并非完全分离。换言之，分布于视网膜外层的传统的视觉感受器(视杆细胞和视锥细胞)也能够将部分光信号传递至 ipRGCs 细胞并参与非视觉功能的形成。因为，来自动物实验结果发现，当表达视黑素的Opn4基因被敲除，会使小鼠生物节律发生相位漂移、瞳孔收缩和急性抑制活跃性能力被削弱。而传统视觉细胞(视杆细胞和视锥细胞)的缺失与Opn4 基因被敲除后小鼠的视觉和非视觉功能均有所减弱(Lucas et al., 2003)。由此提示，传统的两类视觉细胞可能也部分参与了光照非视觉作用的形成。但目前关于经典视觉细胞和 ipRGCs 对光照非视觉功能的贡献仍是该领域研究关注的一个热点问题。未来研究可以采用目前较为先进的光遗传学研究技术从分子生物学的视角对该问题进行深入探索。

6 小结

环境光照非视觉功效的研究是一个新兴的研究领域也是个存在巨大潜力的研究课题。目前关于环境光照对个体心理认知功能的非视觉作用的研究结果存在较大的差异。与此同时，环境光照影响个体认知加工绩效的作用路径也并未形成共识性的结论。由于不同研究者在实际工作开展过程中存在的方法学差异，如实验时间、光学参数设置、实验无关变量控制以及测试群体特征等使得研究结论的可对比性相对较弱。人们对环境光照、大脑、行为与心理之间关系的认知还有待进一步的明晰和深化。在倡导健康照明与绿色照明的现代社会，需要越来越多的研究者关注并从事该领域的研究，特别是加强我国在该领域的本土化研究及构建相应的学科体系具有非常重大的社会和科学价值。未来研究需要通过更加严谨而科学的方法整合现有理论模型，充分利用现代照明技术的优势，努力创设和研发因时、因地和因人而异的智能化照明模式，以提高人们的生产生活效率以及身心健康水平。

致谢：感谢荷兰埃因霍温理工大学(TU/e)智能照明研究所的 Karin. Smolders 教授在本文撰写之初提供的宝贵建议及对英文摘要的修改。同时感谢审稿专家对本文修改提供的建设性意见与建议。

参考文献

陈庆伟, 汝涛涛, 周菊燕, 李静华, 熊晓, 李笑然, 周国富. (2018). 光照对社会心理和行为的影响. *心理科学进展*, *26*(6), 1083–1095.

鲁玉红, 王毓蓉, 金尚忠, 曾珊珊, 邵茂丰. (2013). 不同波长蓝光 LED 对人体光生物节律效应的影响. *发光学报*, *34*(8), 1061–1065.

罗明, 郑诗琪, 叶鸣. (2016). 动态光对人警觉度与表现的影响. *照明工程学报*, *27*(6), 1–5.

熊晓, 朱莹莹, 陈庆伟, 汝涛涛, 周国富. (2018). 室内照度和时间对警觉性和视空绩效的影响. *心理科学*, *41*(6), 1325–1332.

朱莹莹, 汝涛涛, 周国富. (2015). 照明的非视觉作用及其脑神经机制. *心理科学进展*, *23*(8), 1348–1360.

Aan Het Rot, M., Benkelfat, C., Boivin, D. B., & Young, S. N. (2008). Bright light exposure during acute tryptophan depletion prevents a lowering of mood in mildly seasonal women. *European Neuropsychopharmacology*, *18*(1), 14–23.

Baek, H., & Min, B.-K. (2015). Blue light aids in coping with the post-lunch dip: An EEG study. *Ergonomics*, *58*(5), 803–810.

Beaven, C. M., & Ekstrom, J. (2013). A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans. *PLoS ONE*, *8*(10), e76707.

Begemann, S. H. A., van den Beld, G. J., & Tenner, A. D. (1997). Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *20*(3), 231–239.

Benloucif, S., Green, K., L'Hermite-Balériaux, M., Weintraub, S., Wolfe, L. F., & Zee, P. C. (2006). Responsiveness of the aging circadian clock to light. *Neurobiology of Aging*, *27*(12), 1870–1879.

Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, *295*(5557), 1070–1073.

Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, *1*(3), 195–204.

Brainard, G. C., Lewy, A. J., Menaker, M., Fredrickson, R. H., Miller, L. S., Weleber, R. G., ... Hudson, D. (1988). Dose-response relationship between light irradiance and the suppression of plasma melatonin in human volunteers. *Brain Research*, *454*(1-2), 212–218.

Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, *11*(6), 453–464.

Cajochen, C., Kräuchi, K., Danilenko, K. V., & Wirz-Justice, A. (1998). Evening administration of melatonin and bright light: Interactions on the EEG during sleep and wakefulness. *Journal of Sleep Research*, *7*(3), 145–157.

Cajochen, C., Munch, M., Kobialka, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ... Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *90*(3), 1311–1316.

Cajochen, C., Zeitzer, J. M., Czeisler, C. A., & Dijk-J, D. (2000). Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behavioural Brain Research*, *115*(1), 75–83.

Canazei, M., Dehoff, P., Staggl, S., & Pohl, W. (2014). Effects of dynamic ambient lighting on female permanent morning shift workers. *Lighting Research and Technology*, *46*(2), 140–156.

Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Gotz, T., & Cajochen, C. (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*, *6*(1), e16429.

Correa, Á., Barba, A., & Padilla, F. (2016). Light effects on behavioural performance depend on the individual state of vigilance. *PLoS ONE*, *11*(11), e164945.

Coull, J. T. (1998). Neural correlates of attention and arousal: Insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in Neurobiology*, *55*(4), 343–361.

Curcio, G., Casagrande, M., & Bertini, M. (2001). Sleepiness: Evaluating and quantifying methods. *International Journal of Psychophysiology*, *41*(3), 251–263.

Daneault, V., Hébert, M., Albouy, G., Doyon, J., Dumont, M., Carrier, J., & Vandewalle, G. (2014). Aging reduces the stimulating effect of blue light on cognitive brain functions. *Sleep*, *37*(1), 85–96.

Daneault, V., Vandewalle, G., Hébert, M., Teikari, P., Mure, L. S., Doyon, J., ... Carrier, J. (2012). Does pupil constriction under blue and green monochromatic light exposure change with age? *Journal of Biological Rhythms*, *27*(3), 257–264.

de Kort, Y. A. W., & Smolders, K. C. H. J. (2010). Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings. *Lighting Research and Technology*, *42*(3), 345–360.

Dijk, D. J., & Archer, S. N. (2010). PERIOD3, circadian phenotypes, and sleep homeostasis. *Sleep Medicine Reviews*, *14*(3), 151–160.

Ferlazzo, F., Piccardi, L., Burattini, C., Barbalace, M., Giannini, A. M., & Bisegna, F. (2014). Effects of new light sources on task switching and mental rotation performance. *Journal of Environmental Psychology*, *39*(4), 92–100.

Figueiro, M. G., Sahin, L., Wood, B., & Plitnick, B. (2016). Light at night and measures of alertness and performance: Implications for shift workers. *Biological Research for Nursing*, *18*(1), 90–100.

Figueiro, M. G., & Rea, M. S. (2012). Short-wavelength light enhances cortisol awakening response in sleep-restricted adolescents. *International Journal of Endocrinology*, *2012*, 301935.

Fisk, A. S., Shu, K. E. T., Brown, L. A., Vyazovskiy, V. V., Bannerman, D. M., & Peirson, S. N. (2018). Light and cognition: Roles for circadian rhythms, sleep, and arousal. *Frontiers in Neurology*, *9*, 56.

Gabel, V., Maire, M., Reichert, C. F., Chellappa, S. L., Schmidt, C., Hommes, V., ... Cajochen, C. (2013). Effects of artificial dawn and morning blue light on daytime cognitive performance, well-being, cortisol and melatonin levels. *Chronobiology International*, *30*(8), 988–997.

Gabel, V., Maire, M., Reichert, C. F., Chellappa, S. L., Schmidt, C., Hommes, V., ... Viola, A. U. (2015). Dawn simulation light impacts on different cognitive domains under sleep restriction. *Behavioural Brain Research*, *281*, 258–266.

Grass, F., & Kasper, S. (2008). Humoral phototransduction: Light transportation in the blood, and possible biological effects. *Medical Hypotheses*, *71*(2), 314–317.

Hankins, M. W., Peirson, S. N., & Foster, R. G. (2008). Melanopsin: An exciting photopigment. *Trends in Neurosciences*, 31(1), 27–36.

Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2015). Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance. *Behavioural Brain Research*, *294*, 234–245.

Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2016). Non-image forming effects of illuminance level: Exploring parallel effects on physiological arousal and task performance. *Physiology & Behavior*, *164*, 129–139.

Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2017). Seasonal and time-of-day variations in acute non-image forming effects of illuminance level on performance, physiology, and subjective well-being. *Chronobiology International*, *34*(7), 827–844.

Kaida, K., Takahashi, M., Haratani, T., Otsuka, Y., Fukasawa, K., & Nakata, A. (2006). Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness. *Sleep*, *29*(4), 462–469.

Keis, O., Helbig, H., Streb, J., & Hille, K. (2014). Influence

of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. *Trends in Neuroscience and Education*, *3*(3-4), 86–92.

Knez, I. (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, *15*(1), 39–51.

Knez, I., & Kers, C. (2000). Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior*, *32*(6), 817–831.

Kretschmer, V., Griefahn, B., & Schmidt, K. -H. (2011). Bright light and night work: Effects on selective and divided attention in elderly persons. *Lighting Research and Technology*, *43*(4), 473–486.

Kretschmer, V., Schmidt, K. -H., & Griefahn, B. (2012). Bright light effects on working memory, sustained attention and concentration of elderly night shift workers. *Lighting Research and Technology*, *44*(3), 316–333.

LeGates, T. A., Fernandez, D. C., & Hattar, S. (2014). Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(7), 443–454.

Leproult, R., Colecchia, E. F., Hermite-Baleriaux, M. L., & van Cauter, E. (2001). Transition from dim to bright light in the morning induces an immediate elevation of cortisol levels. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *86*(1), 151–157.

Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A., & Markey, S. P. (1980). Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, *210*(4475), 1267–1269.

Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin*, *136*(3), 375–389.

Lockley, S. W., Evans, E. E., Scheer, F. A. J. L., Brainard, G. C., Czeisler, C. A., & Aeschbach, D. (2006). Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep*, *29*(2), 161–168.

Lucas, R. J., Hattar, S., Takao, M., Berson, D. M., Foster, R. G., & Yau, K.-W. (2003). Diminished pupillary light reflex at high irradiances in melanopsin-knockout mice. *Science*, *299*(5604), 245–247.

Mills, P. R., Tomkins, S. C., & Schlangen, L. J. M. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, *5*(1), 2.

Min, B. K., Jung, Y. C., Kim, E., & Jin, Y. P. (2013). Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task. *Brain Research*, *1538*(22), 83–92.

Okamoto, Y., Rea, M. S., & Figueiro, M. G. (2014). Temporal dynamics of EEG activity during short- and long-wavelength light exposures in the early morning. *BMC Research Notes*, *7*(1), 113.

Okamoto, Y., & Nakagawa, S. (2015). Effects of daytime light exposure on cognitive brain activity as measured by the ERP P300. *Physiology & Behavior*, *138*(15), 313–318.

Perrin, F., Peigneux, P., Fuchs, S., Verhaeghe, S., Laureys, S., Middleton, B., ... Balteau, E. (2004). Nonvisual responses to light exposure in the human brain during the circadian night. *Current Biology*, *14*(20), 1842–1846.

Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Dijk, D. J., & Rajaratnam, S. M. (2003). Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*, *26*(6), 695–700.

Plitnick, B., Figueiro, M. G., Wood, B., & Rea, M. S. (2010). The effects of red and blue light on alertness and mood at night. *Lighting Research and Technology*, *42*(4), 449–458.

Rautkylä, E., Puolakka, M., & Halonen, L. (2012). Alerting effects of daytime light exposure–a proposed link between light exposure and brain mechanisms. *Lighting Research and Technology*, *44*(2), 238–252.

Revell, V. L., Arendt, J., Fogg, L. F., & Skene, D. J. (2006). Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. *Neuroscience Letters*, *399*(1-2), 96–100.

Rimmer, D. W., Boivin, D. B., Shanahan, T. L., Kronauer, R. E., Duffy, J. F., ... Czeisler, C. A. (2000). Dynamic resetting of the human circadian pacemaker by intermittent bright light. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, *279*(5), R1574–R1579.

Ru, T., de Kort, Y. A. W., Smolders, K. C. H. J., Chen, Q., & Zhou, G. (2019). Non-image forming effects of illuminance and correlated color temperature of office light on alertness, mood, and performance across cognitive domains. *Building and Environment*, *149*, 253–263.

Rüger, M., Gordijn, M. C., Beersma, D. G., de Vries, B., & Daan, S. (2006). Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: Comparison of daytime and nighttime exposure. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, *290*(5), 1413–1420.

Sahin, L., Wood, B. M., Plitnick, B., & Figueiro, M. G. (2014). Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance. *Behavioural Brain Research*, *274*, 176–185.

Sahin, L., & Figueiro, M. G. (2013). Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. *Physiology & Behavior*, *116–117*(2), 1–7.

Saito, Y., Shimizu, T., Takahashi, Y., Mishima, K., Takahashi, K., Ogawa, Y., ... Hishikawa, Y. (1996). Effect of bright light exposure on muscle sympathetic nerve activity in human. *Neuroscience Letters*, *219*(2), 135–137.

Santhi, N., Groeger, J. A., Archer, S. N., Gimenez, M., Schlangen, L. J. M., & Dijk, D. J. (2013). Morning sleep inertia in alertness and performance: Effect of cognitive domain and white light conditions. *PLoS ONE*, *8*(11), e79688.

Sharkey, K. M., Carskadon, M. A., Figueiro, M. G., Zhu, Y., & Rea, M. S. (2011). Effects of an advanced sleep schedule and morning short wavelength light exposure on circadian phase in young adults with late sleep schedules. *Sleep Medicine*, *12*(7), 685–692.

Slama, H., Deliens, G., Schmitz, R., Peigneux, P., & Leproult, R. (2015). Afternoon nap and bright light exposure improve cognitive flexibility post lunch. *PLoS ONE*, *10*(5), e125359.

Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., & Cluitmans, P. J. M. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology & Behavior*, *107*(1), 7–16.

Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., & van den Berg, S. M. (2013). Daytime light exposure and feelings of vitality: Results of a field study during regular weekdays. *Journal of Environmental Psychology*, *36*(3), 270–279.

Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2014). Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of Environmental Psychology*, *39*, 77–91.

Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2017). Investigating daytime effects of correlated colour temperature on experiences, performance, and arousal. *Journal of Environmental Psychology*, *50*, 80–93.

Stephenson, K. M., Schroder, C. M., Bertschy, G., & Bourgin, P. (2012). Complex interaction of circadian and non-circadian effects of light on mood: Shedding new light on an old story. *Sleep Medicine Reviews*, *16*(5), 445–454.

Thessing, V. C., Anch, A. M., Muehlbach, M. J., Schweitzer, P. K., & Walsh, J. K. (1994). Two- and 4-hour bright-light exposures differentially effect sleepiness and performance the subsequent night. *Sleep*, *17*(2), 140–145.

Thompson, A., Jones, H., Gregson, W., & Atkinson, G. (2014). Effects of dawn simulation on markers of sleep inertia and post-waking performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(5), 1049–1056.

van de Werken, M., Giménez, M. C., de Vries, B., Beersma, D. G., van Someren, E. J., ... Gordijn, M. C. (2010). Effects of artificial dawn on sleep inertia, skin temperature, and the awakening cortisol response. *Journal of Sleep Research*, *19*(3), 425–435.

Vandewalle, G., Archer, S. N., Wuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., ... Maquet, P. (2011). Effects of light on cognitive brain responses depend on circadian phase and sleep homeostasis. *Journal of Biological Rhythms*, *26*(3), 249–259.

Vandewalle, G., Balteau, E., Phillips, C., Degueldre, C., Moreau, V., Sterpenich, V., ... Dang-Vu, T. T. (2006). Daytime light exposure dynamically enhances brain responses. *Current Biology*, *16*(16), 1616–1621.

Vandewalle, G., Gais, S., Schabus, M., Balteau, E., Carrier, J., Darsaud, A., ... Maquet, P. (2007). Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cerebral Cortex*, *17*(12), 2788–2795.

Vandewalle, G., Maquet, P., & Dijk, D. J. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(10), 429–438.

Vandewalle, G., Schwartz, S., Grandjean, D., Wuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., ... Dijk, D. J. (2010). Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(45), 19549–19554.

Viola, A. U., Archer, S. N., James, L. M., Groeger, J. A., Lo, J. C. Y., Skene, D. J., ... Dijk, D. J. (2007). PER3 polymorphism predicts sleep structure and waking performance. *Current Biology*, *17*(7), 613–618.

Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J. M., & Dijk, D. J. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *34*(4), 297–306.

Warman, V. L., Dijk, D. J., Warman, G. R., Arendt, J., & Skene, D. J. (2003). Phase advancing human circadian rhythms with short wavelength light. *Neuroscience Letters*, *342*(1-2), 37–40.

Willeit, M., Sitte, H. H., Thierry, N., Michalek, K., Praschak-Rieder, N., Zill, P., ... Bondy, B. (2008). Enhanced serotonin transporter function during depression in seasonal affective disorder. *Neuropsychopharmacolog*, *33*(7), 1503–1513.

Yang, J., Ru, T., Chen, Q., Mao, T., Ji, Y., & Zhou, G. (2019). The effects of ambient light on task switching depend on the chronotype. *Lighting Research and Technology*, *51*(4), 544–556.

Yang, M., Ma, N., Zhu, Y., Su, Y., Chen, Q., Hsiao, F., ... Zhou, G. (2018). The acute effects of intermittent light exposure in the evening on alertness and subsequent sleep architecture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(3), 524.

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, *18*(5), 459–482.

Yoon, I. Y., Jeong, D. U., Kwon, K. B., Kang, S. B., & Song, B. G. (2002). Bright light exposure at night and light attenuation in the morning improve adaptation of night shift workers. *Sleep*, *25*(3), 351–356.

Acute cognitive effect of ambient light exposure and its moderators and underlying mechanism

RU Taotao[1,2]; LI Yun[3]; QIAN Liu[3]; CHEN Qingwei[1,3];
ZHONG Luojin[4]; LI Jinghua[5]; ZHOU Guofu[1,2]

([1] *National Center for International Research on Green Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou* 510006, *China*) ([2] *Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Information Materials and Technology & Institute of Electronic Paper Displays, South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou* 510006, *China*) ([3] *Lab of Light and Physio-psychological Health, School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou* 510631, *China*) ([4] *School of Professional Development and Research on Primary and Secondary Education, South China Normal University, Guangzhou* 510631, *China*) ([5] *Research Center for Intelligent Lighting and Mental Health, International Academy of Optoelectronics at Zhaoqing, Zhaoqing* 526000, *China*)

Abstract: Since the discovery of the intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs), an increasing number of studies on Non-image forming effects (NIF) of light revealed evidence for acute changes in the level of alertness, mood and cognitive performance during the biological night and day. Regarding the influence of ambient light on cognitive performance in healthy day-active people, however, studies have revealed even more equivocal findings. Light's effect on cognition is moderated by many factors, chief among them are the parameters of light (intensity and spectrum), lighting pattern, timing (time of day and year), personality characteristics and the nature of the task. For future research should pay more attention to investigating the relationship between light level and performance with multiple manipulations of light, exploring dynamic lighting system, developing customized personalized luminaire and testing molecular biological mechanism of NIF effect of light.

Key words: ambient light; non-image forming effect; cognitive function; circadian rhythm